

ANALISIS BEBAN PENCEMARAN DAN KAPASITAS ASIMILASI DANAU SENTANI, PAPUA SEBAGAI UPAYA KONSERVASI LINGKUNGAN PERAIRAN¹

[Analysis the Pollution Load and the Assimilation Capacity of Lake Sentani, Papua for
Conservation of Aquaculture Environment]

AuldryFWalukow^{1E1*}, DDjokosetiyanto², KholiPdan Dedi Soedharma⁴

¹Mahasiswa Program Doktor pada Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan-
Pasca Sarjana-Institut Pertanian Bogor dan Staf Pengajar Universitas Cendrawasih, Jayapura, Papua,

²Departemen Budidaya Perairan Institut Pertanian Bogor, ³Departemen PSL-Institut Pertanian Bogor,

⁴Departemen Ilmu Kelautan-Institut Pertanian Bogor

e-mail: wauldry@yahoo.co.id

ABSTRACT

The Lake Sentani has problems. Firstly, high of erosion number i.e. 94.52 ton/ha/year of which the value is higher than erosion tolerance at average 25 ton/ha/year. Secondly, high concentration of chemical pollution such as Cu (0.0201- 0.1081 mg/L) and Zn (0.21 - 0.36 mg/L) which these values are above water quality standard approved by the government as ruled in PP 82 Tahun 2001 about the management of water quality and water pollution. Therefore research and management are needed to find solution for the sustainability of this lake. The aims of this research is to be acquainted with carrying capacity of Lake Sentani through analyzing 1) the pollution load, and 2) the assimilation capacity of Lake Sentani aquaculture. The collected information is important for future aquaculture environmental management and conservation. Result shows that the pollution loads from river are obtained as follows (ton/month): TDS (441.806 to 775.287), BOD (3.510 to 7.801) and COD (7.737 to 16.055). The assimilation capacities from lake are obtained as follows (ton/month): TDS (12.18494), BOD (11.31973) and COD (122.4184). The number of pollution loads (TDS, BOD and COD) are under the assimilation capacity.

Kata kunci: Beban pencemaran, kapasitas asimilasi, daya dukung, konservasi, lingkungan perairan, Danau Sentani, Papua.

PENDAHULUAN

Danau Sentani terletak di antara Kabupaten Jayapura dan Kota Jayapura, Provinsi Papua. Danau ini memiliki luas 9630 ha dengan ketinggian 75 meter di atas permukaan laut. Danau tersebut merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat potensial jika dikelola dengan baik, antara lain sebagai sumber air bersih, perikanan, transportasi, irigasi dan ekowisata. Potensi ini akan sangat menarik investor untuk menanamkan modal yang pada gilirannya dapat menaikkan kualitas perekonomian wilayah. Namun, danau yang diharapkan memberi nilai tambah ekonomi, sosial dan ekologi ini telah terancam keberlanjutannya oleh karena degradasi lingkungan atau telah terjadi pencemaran (BP DAS, 2005; Dinas PU Jayapura, 2007). Degradasi lingkungan ini ditandaikan dengan tingginya erosi sebesar 94,52 ton/ha/tahun yang telah melebihi nilai erosi yang dapat ditoleransi yakni 25 ton/ha/tahun (BP DAS, 2005). Selain itu tingginya pencemaran untuk zat-zat tertentu, seperti Cu (0,0201 - 0,1081 mg/L) dan Zn (0,21-0,36 mg/L) yang mana nilai ini melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah melalui PP 82 Tahun

2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air (Dinas PU Jayapura, 2007). Guo *et al.* (2001) menyebutkan degradasi lingkungan perairan sungai dan danau sangat dipengaruhi oleh subsistem populasi penduduk, subsistem sumberdaya air, subsistem industri, subsistem polusi (pencemaran), subsistem kualitas air, subsistem pariwisata dan subsistem pertanian.

Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran dapat timbul sebagai akibat kegiatan manusia (selain yang disebabkan oleh alam - misal gunung meletus, gas beracun). Ilmu lingkungan biasanya membahas pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia, yang dapat dicegah dan dikendalikan. Pencemaran lingkungan tersebut tidak dapat dihindari. Yang dapat dilakukan adalah mengurangi pencemaran, mengendalikan pencemaran, dan meningkatkan kesadaran, partisipasi dan kepedulian masyarakat terhadap lingkungannya agar tidak mencemari lingkungan. Goldar dan Banerjee (2004) telah mengkaji keefektifan regulasi informal dalam mengontrol pencemaran air sungai di India. Regulasi informal ini

merupakan bentuk partisipasi masyarakat lokal dalam mengurangi pencemaran.

Pencemaran air berdampak pada suplai air minum, ekosistem, ekonomi, serta kesehatan manusia dan keamanan sosial (*social security*). Sekitar 3-4 juta jiwa penduduk dunia meninggal setiap tahun disebabkan oleh *waterborne diseases*, termasuk di dalamnya lebih dari 2 juta jiwa anak-anak meninggal karena diare. Negara-negara berkembang sangat rentan terkena dampak negatif dari pencemaran air khususnya perkampungan kota yang miskin dan kotor (Andreas *etal.*, 2001).

Mengacu pada pemikiran di atas, maka penelitian ini perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui daya dukung Danau Sentani melalui analisis (1) beban pencemaran, dan (2) kapasitas asimilasi perairan Danau Sentani ini. Informasi yang diperoleh akan menjadi penting dalam upaya pengelolaan konservasi lingkungan perairan setempat.

BAHATANMETODE

Penelitian berlangsung pada Juli 2007 sampai Desember 2007. Pengambilan sampel pada tanggal 20 September 2007 dimulai dari jam 07.25 WIT sampai 13.55 WIT dengan kondisi cuaca cerah. Masing-masing lokasi sampling atau stasiun pengamatan dilakukan tiga kali ulangan atau tiga titik sampling sehingga totalnya adalah 18 titik sampling. Pengambilan contoh air menggunakan perahu motor tempel. Parameter yang diukur meliputi sifat fisika dan kimia (Tabel 1). Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Di muara sungai, dilakukan pengambilan sampel pada masing-masing sungai yang mengalir Danau Sentani yang dilakukan 3 kali ulangan. Sungai-sungai yang digunakan sebagai tempat sampling sebanyak

empat sungai yaitu S. Jembatan II, S. Flavouw, S. Warno dan S. Belo. Di lokasi danau, penelitian diawali dengan penentuan lokasi pengambilan sampel dengan mempertimbangkan dapat mewakili aktivitas di daratan, dan aktivitas di perairan yaitu adanya aktivitas pencucian mobil di sungai, penambangan galian C dan emas, pemukiman padat di luar danau dan di atas danau, erosi lahan, jalur transportasi air dan stasiun pantai danau, aktivitas konversi lahan di hulu, dan PLTD. Pengambilan sampel air dilakukan dengan menggunakan botol sampel di enam wilayah Danau Sentani yaitu Asey Kecil, Asey Besar, Yabaso, Babrongko, Yahim dan Ifale dengan teknik sampel campuran (*composite sample*). Asey Kecil terletak di Distrik Abepura dengan posisi lokasi sampling (02°35'438"LS dan 140°36'982"BT). Asey Kecil mewakili inlet sungai Jembatan Dua dan juga mewakili pemukiman pada Desa Yoka dan Waena, aktivitas penambangan emas di hulu, PLTD dan cucian mobil di sungai ini. Asey Besar terletak di Distrik Sentani Timur dengan lokasi sampling (02°35'791"LS dan 140°36'866"BT). Asey Besar mewakili pemukiman di Desa Netar, Desa Kampung Harapan, Desa Ayapo dan Kampung Tanjung Elmo yang berada di dekat Danau. Yabaso dan Yahim terletak di Distrik Sentani dengan posisi lokasi sampling (02°35'5531"LS dan 140°31'696"BT). Yabaso, Ifale dan Yahim mewakili aktivitas pemukiman padat di Sentani, penambangan galian C di Sungai Flafouw, Bandar udara Sentani dan Dermaga transportasi danau di Yahim. Ifale juga mewakili penambangan galian C di Sungai Belo. Lokasi sampling untuk Ifale (02°36'093"LS dan 140°34'275"BT). Babrongko terletak di Distrik Sentani dengan posisi lokasi sampling (02°36'055"LS dan 140°31'009"BT). Babrongko mewakili aktivitas penambangan galian C

Tabel 1. Parameter (sifat) fisika dan kimia air Danau Sentani

No	Parameter	Satuan	Alat	Metode
Fisika :				
1	Suhu	°C	Termometer Hg	In situ
2	Kecerahan	m	Secchi disk	Penetrasi cahaya, in situ
3	TDS	mg/l	Penyaring milipore, timbangan analitik	Gravimetrik, Laboratorium
Kimia:				
4	PH	-	pH meter	Potensiometrik, in situ
5	DO	mg/l	Peralatantitrasi/DO meter	Titrasi W inkier, Laboratorium /in situ
6	BOD ₅	mg/l	Peralatan titrasi	Titrasi, Laboratorium
7	COD	mg/l	Peralat an titrasi	Titrasi, Laboratorium

sungai Warno dan pemukiman padat di Sentani. Sungai dan daratan di desa tersebut di lakukan penambangan galian C dan terjadi erosi lahan. Lokasi sampling dipilih/ ditentukan secara sengaja (*purposive sampling*). Penentuan empat lokasi sampling ini didasarkan pada aspek-aspek 1) tujuan pengambilan sampel, 2) jenis sumber air yang akan disampel, 3) pola aliran air yang akan disampel dan 4) pola aliran air badan air yang akan disampel, khususnya air permukaan. Posisi (lintang—bujur) lokasi sampling atau masing-masing stasiun pengamatan ditentukan dengan menggunakan GPS (*GlobalPosisioning System*).

Pengukuran Beban Pencemaran

Analisis beban pencemaran dilakukan dengan perhitungan langsung di muara-muara sungai yang menuju Danau Sentani. Chapra dan Reckhow (1983) menyebutkan bahwa cara perhitungan beban pencemaran didasarkan pada pengukuran debit sungai dan konsentrasi limbah di muara sungai-sungai yang mengairi Danau Sentani berdasarkan model berikut:

$$BP = QC \dots\dots\dots (1a)$$
$$BP = I Q_j \times Q \times 3600 \times 24 \times 30 \times 1 \times 10^6 \dots\dots\dots (1b)$$

BP = Beban pencemaran yang berasal dari sungai (ton/bulan)
Q_j = Debit sungai ke-i (mVdetik)
G_j = Konsentrasi limbah parameter ke-i (mg/l)

Pengukuran KapasitasAsimilasi

Kapasitas asimilasi adalah kemampuan air atau

sumber air dalam menerima pencemaran limbah tanpa menyebabkan terjadinya penurunan kualitas air yang ditetapkan sesuai peruntukannya. Jadi jika nilai beban pencemaran berada di atas nilai kapasitas asimilasi maka daya daya dukung perairan tersebut telah menurun. Nilai kapasitas asimilasi didapatkan dengan cara membuat grafik hubungan antara nilai parameter kualitas air di perairan danau dengan total beban pencemaran parameter tersebut di muara sungai. Titik perpotongan dengan nilai baku mutu yang berlaku untuk setiap parameter disebut sebagai nilai kapasitas asimilasi. Dengan demikian pencemaran di muara sungai secara matematis dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$y=f(x) \dots\dots\dots (2)$$

Secara matematis persamaan regresi linier dapat dituliskansbb.:

$$y = a + bx \dots\dots\dots (3)$$

- x = nilai parameter di muara sungai
- y = nilai parameter di perairan danau
- a = nilai tengah/rataan umum
- b = koefisien regresi untuk parameter di sungai

HASIL

Analisis Beban Pencemaran

Beban pencemaran yang diamati adalah beban pencemaran mulai dari Tahun 2005-2007 pada masing-masing sungai yaitu S. Jembatan II, S. Flavouw, S.

Tabel 2. Beban Pencemaran di masing-masing sungai

Sungai	Parameter	Satuan	Baku mutu	2005	2006	2007
Jembatan II	FISIKA					
	TDS	mg/L	1000	263,088	174,182	287,712
	BOD	mg/L	2	1,166	2,799	2,675
	COD	mg/L	10	2,527	4,759	3,857
Flafouw	TDS	mg/L	1000	207,360	134,784	173,146
	BOD	mg/L	2	0,902	1,659	2,084
	COD	mg/L	10	2,001	1,452	3,525
Warno	TDS	mg/L	1000	105,754	31,752	84,758
	BOD	mg/L	2	0,631	0,454	1,353
	COD	mg/L	10	1,405	0,972	1,921
Belo	TDS	Mg/L	1000	199,066	101,088	188,698
	BOD	Mg/L	2	0,811	0,505	1,452
	COD	Mg/L	10	1,804	1,143	1,244
Total Beban Pencemaran	TDS	mg/L	1000	775,287	441,806	739,930
	BOD	mg/L	2	3,510	5,417	7,801
	COD	mg/L	10	7,737	8,326	16,055

Wamo dan S. Belo (Tabel 2). Konsentrasi baku mutu pada Tabel 1 dan Tabel 2 mengacu pada PP 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

Beban pencemaran di 4 muara sungai dari tahun 2005 sampai tahun 2007 tertinggi yaitu total zat padat terlarut (*Total Dissolved Solid/TDS*). Pada tahun 2007 sungai Jembatan II memberikan kontribusi beban pencemaran terbesar yakni 287,712 ton/bulan (Gambar 1). Tabel 2 adalah nilai total beban pencemaran pada masing-masing sungai dan beban pencemaran masing-masing parameter dari tahun 2005 sampai 2007. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan

jumlah beban pencemaran TDS di masing-masing muara sungai pada Tahun 2007. Hal ini disebabkan karena telah terjadi banjir pada tahun tersebut, sehingga mengakibatkan jembatan rusak dan aberasi di sempadan sungai (Tabel 3) dan Foto 1 (Bapedalda, 2007).

Analisis Kapasitas Asimilasi

Hasil analisis kapasitas asimilasi dapat dilihat dari regresi hubungan antara beban pencemaran dan konsentrasi bahan pencemar, yang ditampilkan pada (Gambar 2 - Gambar 4).

Penentuan kapasitas asimilasi untuk TDS

Tabel 3. Kerusakan Sarana dan Prasana Akibat Banjir di Wilayah Distrik Sentani Tahun 2007

No	Jenis Sarana/prasarana	Jum lah	Lokasi	Jenis Kerusakan
1.	Jembatan Utama	2 buah	- Jembatan Flavouw - Jembatan kali belo	25 meter patah 25 meter patah
2.	Jalur Alternatif		- kali komba - Jembatan lingkar utara	30 meter rusak Ambruk
3.	Jalan Lingkar Utara		- Jalan di Sereh - Jalan ifar Gunung - Talud depan Polsek - Pipa PDAM	200 meter rusak 500 meter rusak 50 m eter rob oh 850m .rusak/hanyut
4.	Gedung Kan tor	10 buah	- Kantor Dispenda - Yonif 751/BS - Panti asuhan - Sekolah	Tergenang dengan ketinggian antara 1 - 1,5 meter
5.	Perumahan	1410 buah	- Rumah penduduk	Terendam
		41 buah	- Rumah penduduk	Rusak / hanyut
		63 buah	- Rumah penduduk	Rusak berat
		45 buah	- Rusah penduduk	Rusak sedang

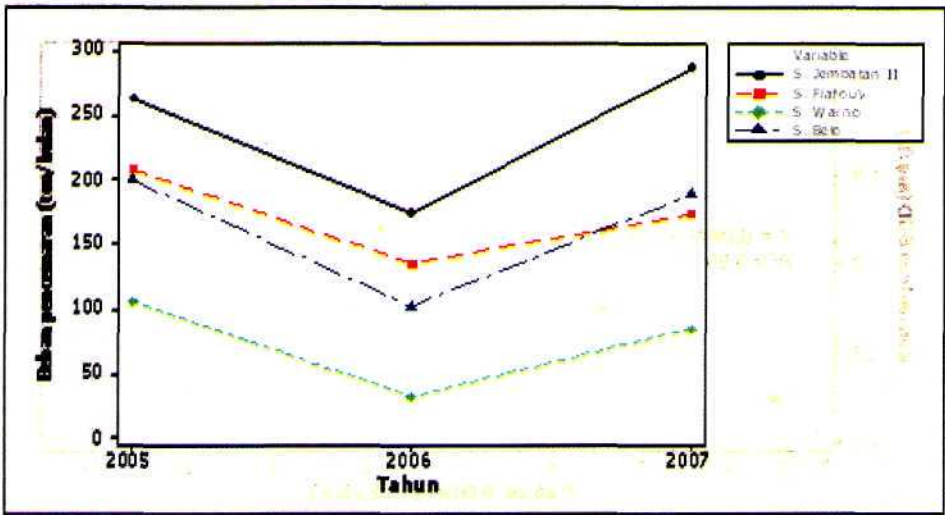
Sumber: 7m Inventaris Kerugian Akibat Banjir di Sentani dalam Bapedalda Kabupaten Jayapura (2007)



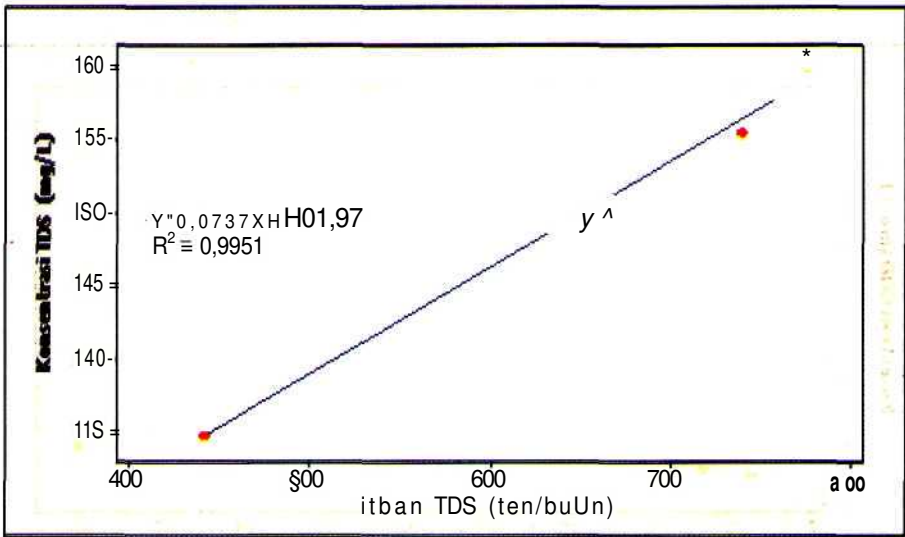
Foto 1a. Pelebaran pada alur sungai akibat banjir dan erosi



Foto 1b. Kerusakan jembatan akibat banjir dan erosi



Gambar 1. Perubahan jumlah TDS di muara sungai



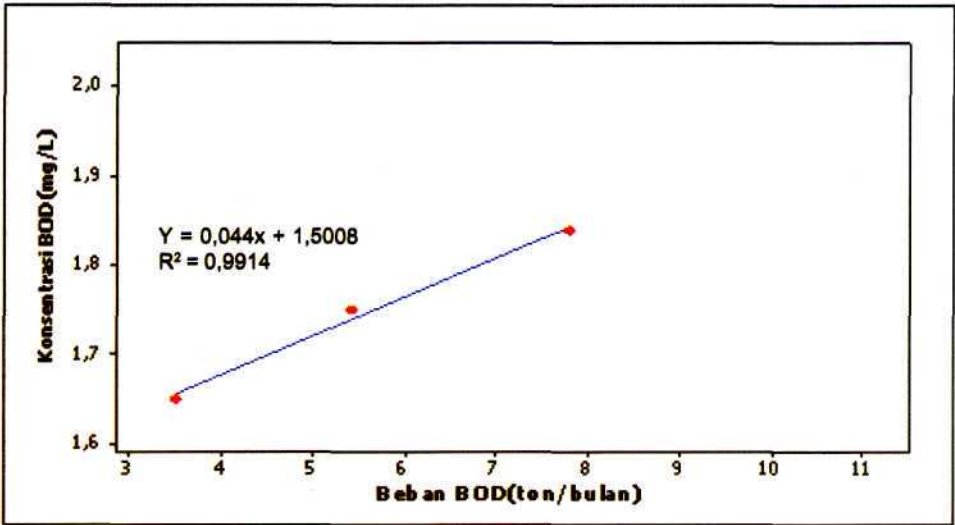
Gambar 2. Analisis regresi antara beban pencemar TDS di muara sungai dengan konsentrasi TDS di perairan Danau Sentani Tahun 2005-2007

dilakukan dengan persamaan regresi $y = 0,0737x + 101,97$ dengan $R^2 = 0,9951$. Hasil perpotongan garis regresi dengan garis baku mutu menghasilkan perpotongan kapasitas asimilasi sebesar 12.184,94 ton/bulan. Kondisi ini memperlihatkan bahwa perairan Danau Sentani belum tercemar dengan parameter TDS karena masih di bawah nilai kapasitas asimilasinya (Gambar 2).

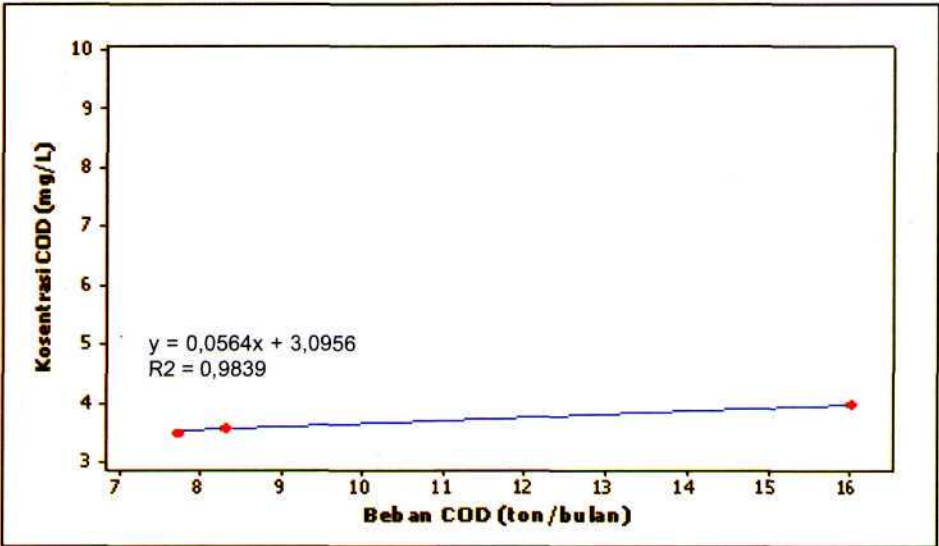
Berdasarkan persamaan regresi $y = 0,0441x + 1,5008$ dan $R^2 = 0,9914$, dapat ditentukan kapasitas asimilasi BOD. Hasil perpotongan garis regresi dengan garis baku mutu menghasilkan perpotongan kapasitas

asimilasi sebesar 11,3173 ton/bulan. Gambar 3 memperlihatkan bahwa kondisi perairan Danau Sentani belum tercemar dengan parameter BOD karena masih di bawah nilai kapasitas asimilasinya.

Dengan menggunakan persamaan regresi $y = 0,0564x + 3,0956$ dan $R^2 = 0,9839$ maka dapat ditentukan kapasitas asimilasi COD. Hasil perpotongan garis regresi dengan garis baku mutu menghasilkan perpotongan kapasitas asimilasi sebesar 122,4184 ton/bulan. Dari Gambar 4 terlihat bahwa kondisi perairan Danau Sentani belum tercemar dengan parameter COD karena masih di bawah nilai kapasitas asimilasinya.



Gambar 3. Analisis regresi antara beban pencemar BOD di muara sungai dengan konsentrasi BOD di perairan Danau Sentani Tahun 2005-2007



Gambar 4. Analisis regresi antara beban pencemar COD di muara sungai dengan konsentrasi COD di perairan Danau Sentani Tahun 2005 - 2007

PEMBAHASAN

TDS merupakan bahan-bahan terlarut (diameter <10⁶ mm) dan koloid (diameter 10⁶-10³) berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45µm (Effendi, 2003). Penyebab TDS biasanya bahan anorganik berupa ion—ion yang umum dijumpai di perairan seperti disajikan pada Tabel 4.

Tingginya nilai TDS menggambarkan perairan tersebut sangat dipengaruhi oleh pelapukan batuan, limpasan dari tanah, dan pengaruh antropogenik

(berupa limbah domestik dan industri). Bahan-bahan tersuspensi dan terlarut pada perairan alami tidak bersifat toksik, akan tetapi jika jumlahnya berlebihan terutama TSS dapat meningkatkan nilai kekeruhan yang selanjutnya menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya berpengaruh pada proses fotosintesis di perairan. Kondisi ini dapat mengakibatkan punahnya kehidupan di ekosistem danau.

Selain aktivitas tangkapan, penyebab

Tabel 4. Daftar Ion-ion yang Biasa Ditemukan di Perairan

Ion Utama (1,0 -1,000mg/L)	Ion Sekunder (0,01 - 10,0 mg/L)
1.Sodium (Na)	1. Besi (Fe)
2. Kalsium (Ca)	2. Strontium (St)
3. M agnesium (Mg)	3. Potassium (K)
4. Bikarbonat (HCO ₃)	4. Karbonat (CO ₃)
5. Sulfat (SO ₄)	5. Nitrat (NO ₃)
6. Klorida (Cl)	6. Fluorida (F)
	7. Boron (B)
	8. Silika (SiO ₂)

Sumber: Todd (1970) dalam Effendi (2003)

punahnya beberapa jenis ikan kemungkinan disebabkan oleh pencemaran. Data menunjukkan bahwa jenis ikan yang ditemukan di Danau Sentani sebanyak 29 spesis (Umar *et al.*, 2005) dan menurut Renyaan dalam Bapedalda (2004) dan Dinas PU Jayapura (2007) sebanyak 37 spesis (Tabel 3). Namun berdasarkan wawancara dengan masyarakat, ikan Hiu Gergaji (*Pristis microdon*) telah punah atau tidak ditemukan lagi.

" Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa beban pencemaran terus meningkat dari tahun ke tahun. Beban pencemaran yang terus meningkat mengakibatkan daya dukung Danau Sentani semakin menurun. Daya dukung danau dapat dijelaskan berdasarkan nilai kapasitas asimilasi. Apabila nilainya berada di bawah nilai kapasitas asimilasi berarti perairan danau masih memenuhi daya dukung. Demikian pula bila terjadi sebaliknya. Nilai beban pencemaran yang berada di bawah nilai kapasitas asimilasi berarti bahwa dalam rentang waktu tertentu air Danau Sentani masih mampu menerima pencemaran limbah yang masuk tanpa terjadi penurunan kualitas air yang ditetapkan sesuai peruntukannya. Hal ini disebabkan oleh air yang memiliki kemampuan *self purification* atau kemampuan pulih alamiahnya. Beban limbah yang masuk ke perairan hendaknya tidak melebihi daya asimilasi ekosistem sehingga kemampuan pulih alaminya dapat berlangsung secara optimal (Dahuri, 2003). Konsentrasi polutan yang masuk ke perairan mengalami tiga macam fenomena, yaitu pengenceran (*dilution*), penyebaran (*dispertiori*) dan reaksi penguraian (*decay or reaction*). Oleh sebab itu dibutuhkan penanganan terhadap sumber pencemar melalui intervensi kebijakan dan penguatan

kelembagaan.

Berdasarkan keadaan tesebut, dapat dinyatakan bahwa pencemaran yang terjadi di perairan Danau Sentani kemungkinan disebabkan oleh banjir (Tabel 3) dan erosi tanah. Banjir mengangkut semua limbah ke Danau Sentani seperti limbah domestik (organik), limbah industri (anorganik) maupun akibat erosi tanah. Penelitian ini memperkuat simpulan Mustafa *et al.* (2008) dan Dahuri (2003) bahwa faktor sumber pencemar perairan adalah limbah domestik (perkotaan) (*domestic urban wastes*), limbah cair perkotaan (*urban storm-water*), limbah cairpemukiman (*sewage*) pertambangan, limbah industri (*industrial wastes*), limbah pertanian (*agricultural wastes*), limbah perikanan budidaya dan air limbah pelayaran (*shipping waste water*). Sedangkan bahan pencemar utama yang terkandung dalam buangan limbah dari ketujuh sumber tersebut berupa sedimen, unsur hara (*nutrient*), logam beracun (*toxic metal*), pestisida, organisme eksotik, organisme pathogen, sampah dan *oxygen depleting substance* (bahan yang menyebabkan oksigen terlarut dalam air berkurang).

KESIMPULAN

Tingginya nilai TDS menggambarkan perairan Danau Sentani sangat dipengaruhi oleh banjir dan erosi. Nilai beban pencemaran TDS, BOD dan COD masih di bawah nilai kapasitas asimilasinya. Parameter TDS memiliki nilai beban pencemaran tertinggi sebesar 739,9296 ton pada tahun 2007. Salah satu upaya pengurangan total sumber pencemar adalah melalui intervensi fungsional dengan cara pengendalian pertumbuhan penduduk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan bagian dari Disertasi dalam penyelesaian studi Program Doktor AFW pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan - Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, dengan Komisi Pembimbing Dr Ir Djokosetiyanto, DEA, Dr Ir Kholil, MKom dan Prof Dr Ir Dedi Soedharma, DEA.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreas RK, K Choudhury and E Kampa. 2001. *Protecting Water Resources: Pollution Prevention*. Secretariat of the International Conference on Freshwater. Bonn.
- Bapedalda. 2004.** Kajian Dampak Lingkungan Hidup Kabupaten Jayapura, Bapedalda Kabupaten Jayapura.
- BP DAS. 2005.** *Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi dan Konservasi Tanah DAS Sentani*. BP DAS. Jayapura.
- Chapra SC and KH Reckhow. 1983.** *Engineering Approaches For Lake Management*. Butterworth Publishers. Boston, London.
- Dahuri R. 2003.** *Keanekaragaman Hayati Laut Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Dinas PU Jayapura. 2007. *Master Plan dan Detail Desain Operasi dan Petneliharaan Danau Sentani*. Jayapura.
- Effendi H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Guo HC, L Liu, GH Huang, GA Fuller, R Zou and YY Yin. 2001. A system dynamics approach for regional environmental planning and management: A study for the Lake Erhai Basin. *Journal Environmental Management* 61, 93 - 111.
- Goldar B and N Banerjee. 2004. Impact of informal regulation of pollution on water quality in rivers in India. *Journal Environmental Management* 73, 117-130.
- Mustafa G, MA Kashmiri, A Shahzad, MW Mumtaz and M Arshad. 2008. Estimation of Pollution Load at Critical Points in Stream Water Using Various Analytical Methods. *Journal Applied Environmental Sciences* 3, 97-105.
- Umar C, E Setiadi, DWH Tjahjo, Mujiyanto, LP Astuti, Y Sugianti, N Widarmanto, S Romdom, U Sukandi dan E Kosasih. 2005. *Identifikasi dan Karakteristik Habitat dan Populasi Ikan di Danau Sentani Propinsi Papua*. Loka Riset Pemacuan Stok Ikan. Pusat Riset Perikanan Tangkap Badan Riset Kelautan dan Perikanan. Jakarta.